



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Pada saat ini pembangunan dalam sektor industri di Indonesia mengalami peningkatan, salah satunya pembangunan industri kimia. Namun Indonesia masih mengimpor bahan baku atau produk-produk industri kimia dari luar negeri. Untuk itu diperlukan suatu usaha untuk menanggulangi ketergantungan impor yang salah satu solusinya adalah dengan pendirian pabrik untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Jumlah dan macam industri yang belum dapat dipenuhi sendiri cukup banyak dan biasanya diperoleh dengan cara mengimpor dari negara lain.

Melamin merupakan bahan yang dihasilkan oleh industri petrokimia dengan rumus $C_3H_6N_6$ juga dikenal dengan nama 2-4-6 *triamino* 1-3-5 *triazine*. Senyawa ini berbentuk kristal monosiklik berwarna putih. Melamin diantaranya digunakan sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, bahan sintesa organik, bahan pencampur cat, pelapis kertas, tekstil, penyamakan kulit, dan lain-lain.

Melihat kebutuhan melamin pada masa sekarang ini, seiring dengan industri-industri pemakainya yang semakin meningkat, maka pendirian pabrik melamin dirasa sangat perlu. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi permintaan didalam negeri, mengurangi impor melamin dan membuka tenaga kerja baru.

1.2 Kapasitas Rancangan

Penentuan kapasitas pabrik melamin dengan pertimbangan pertimbangan sebagai berikut :

1. Perkiraan kebutuhan melamin di Indonesia

Berkembangnya industri-industri pemakai melamin di Indonesia, seperti Industri *moulding*, industri *adhesive*, industri *surface coating* menyebabkan kebutuhan melamin di Indonesia semakin meningkat. Saat ini Indonesia memiliki dua pabrik yang memproduksi melamin yaitu :



a. PT. Sri Melamin Rejeki (SMR)

PT SMR mulai berproduksi pada tahun 1994 dengan kapasitas 20.000 ton/tahun. Pabrik ini mendapat pasokan bahan baku dari PT Pupuk Sriwijaya Palembang.

b. PT. DSM Kaltim Melamin

PT. DSM Kaltim Melamin mulai beroperasi pada tahun 1996, sebagai hasil kerja sama antara Pupuk Kalimantan Timur Tbk dengan DSM Holland. Kapasitas design pabrik ini 40.000 ton/tahun dan telah dinaikkan menjadi 50.000 ton/tahun.

Sedangkan kebutuhan melamin yang belum dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri, masih mengimpor dari negara lain. Berikut data-data produksi dan impor melamin Indonesia dari tahun 1997 sampai tahun 2007.

Tabel 1. Perkembangan Produksi dan Impor Melamin Indonesia 1997 – 2007

(Badan Pusat Statistik, 2007)

Tahun	Produksi (ton)	Impor (ton)
1997	28.300	15.001
1998	44.750	6.048
1999	46.250	9.541
2000	65.000	7.364
2001	63.000	12.180
2002	66.150	11.391
2003	56.000	8.024
2004	66.000	5.610
2005	65.000	10.419
2006	69.000	6.674
2007	67.000	5.840

Berdasarkan data pada tabel 1 maka dapat dihitung jumlah melamin yang harus diimpor pada tahun 2012 yaitu sebesar 6.168 ton.



2. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan melamin berupa urea, dapat dipenuhi dari dalam negeri dimana produksi urea di Indonesia cukup besar. Hal ini dapat dilihat dari perkembangan produksi urea di Indonesia yang mengalami peningkatan setiap tahunnya dan telah diekspor dalam jumlah yang besar. Berikut ini data-data produksi urea dan perkembangan ekspor urea di Indonesia sampai tahun 2000.

Tabel 2. Perkembangan Produksi dan Ekspor Urea Indonesia 1996-2000

(Badan Pusat Statistik, 2001)

Tahun	Produksi (ton)	Ekspor (ton)
1996	6.199.900	1.260.002
1997	6.305.700	2.087.612
1998	7.585.200	1.520.543
1999	7.839.900	2.052.184
2000	7.824.700	1.021.269

3. Kapasitas Komersial

Dari data (Ullman, 2003), ternyata kapasitas pabrik melamin yang ada di dunia pada rentang 10.000-90.000 ton/tahun. Tabel 3 menunjukkan beberapa produsen melamin yang telah beroperasi di dunia.

Tabel 3. Kapasitas Produksi Perusahaan Melamin di Dunia (Ullman, 2003)

Negara	Perusahaan	Kapasitas (ton/tahun)
Fed. Rep. Germany	BASF	42.000
Netherland	DSM	90.000
United Sates	<i>Melamine Chemical</i>	47.000
Japan	<i>Mitsui Toatsu</i>	38.000
Taiwan	<i>Taiwan Fertilizer</i>	10.000



Berdasarkan ketiga pertimbangan diatas maka untuk perancangan awal pabrik melamin ini ditetapkan dengan kapasitas 20.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya untuk diekspor.

I.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Lokasi yang dipilih untuk pendirian pabrik melamin ini adalah daerah Cikampek, Jawa Barat. Pemilihan lokasi ini berdasarkan pada beberapa faktor :

1. Penyediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan melamin adalah urea yang kebutuhannya didapat dari PT. Pupuk Kujang yang berada di daerah Cikampek, Jawa Barat.

2. Daerah Pemasaran

Industri pemakai produk Melamin di Pulau Jawa, seperti Jawa Timur, Jawa Barat dan Jawa Tengah, DKI Jakarta sebagai contoh PT. Arjuna Karya Utama yang merupakan produsen bahan perekat dan lain-lain.

3. Penyediaan bahan bakar dan energi

Daerah Cikampek merupakan kawasan Industri sehingga penyediaan bahan bakar dan energi dapat dipenuhi dengan baik.

4. Penyediaan Air

Kebutuhan air untuk proses produksi dapat diperoleh dari sumber air Sungai Parungkadali dan Sungai Cikao.

5. Transportasi

Sarana transportasi darat di daerah Cikampek sangat memadai karena tersedianya jalan raya dan rel atau jalur kereta api. Disamping itu dekat dengan pelabuhan laut untuk keperluan transportasi laut.

6. Tenaga kerja

Kawasan Cikampek berlokasi tidak jauh dari wilayah Jabotabek yang sarat dengan lembaga pendidikan formal sehingga memiliki potensi tenaga ahli maupun non ahli baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

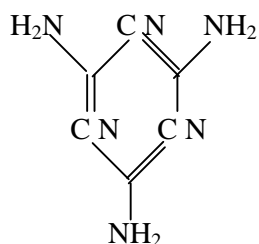


7. Karakterisasi lokasi

Daerah Cikampek merupakan kawasan industri sehingga untuk pendirian suatu pabrik akan lebih mudah.

1.4 Tinjauan Pustaka

Melamin pertama kali dipelajari oleh Leibig pada tahun 1834 (Ullman, 2003). Pada saat itu Leibig mendapatkan melamin dari proses peleburan antara *potassium thiosianat* dengan amonium klorida. Kemudian pada tahun 1885 A.W Von Hoffman mempublikasikan struktur molekul melamin, sebagai berikut :

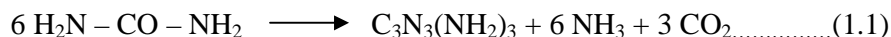


Melamin banyak dijumpai pada aplikasi industri untuk proses produksi resin melamin formaldehid. Pada sekitar tahun 1960, melamin diproduksi dari *dicyanamid* (Ullman, 2003). Proses ini berlangsung didalam *autoclave* pada tekanan 10 MPa dan suhu 400°C dengan adanya gas amoniak.

Pada awal 1940, Mackay menemukan bahwa melamin juga bisa disintesa dari urea pada suhu 400°C dengan atau tanpa katalis. Sejak saat itu melamin mulai diproduksi dari bahan baku urea (Ullman, 2003).

1.4.1 Macam-Macam Proses

Menurut Ullman, (2003) melamin dapat disintesa dari urea pada suhu 350 – 400°C dengan persamaan (1.1) berikut ini:



Reaksinya bersifat endotermis membutuhkan 629 kJ/mol melamin. Secara garis besar proses pembuatan melamin dapat diklasifikasikan menjadi dua :



1. Proses tekanan rendah (1MPa) dengan menggunakan katalis.
2. Proses tekanan tinggi (≥ 8 MPa) tanpa menggunakan katalis.

Masing-masing proses terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap sintesa, *recovery* dan pemurnian melamin serta pengolahan gas buang.

1. Proses Tekanan Rendah dengan Menggunakan Katalis.

Proses tekanan rendah dengan katalis menggunakan *fluidized bed reactor* pada tekanan atmosferik sampai 1 MPa pada suhu 390 – 410°C. Sebagai *fluidizing gas* digunakan amoniak murni atau campuran antara amoniak dan karbondioksida yang terbentuk selama reaksi. Katalis yang digunakan yaitu silika dan alumina.

Melamin meninggalkan reaktor berupa gas bersama dengan *fluidizing gas*. Kemudian dipisahkan dari amoniak dan karbondioksida dengan *quenching gas* menggunakan air (yang diikuti dengan kristalisasi) atau sublimasi. Langkah pertama adalah dekomposisi urea menjadi asam isosianat dan amoniak kemudian diubah menjadi melamin. Mekanisme Reaksi :



Yield yang diperoleh adalah 90 – 95 %.

Ada tiga proses pada tekanan rendah yaitu:

a. Proses BASF (*Badische Anilin and Soda Fabric*)

Menurut Ullman, (2003) proses BASF menggunakan reaktor satu stage, dimana lelehan urea diumpankan ke *fluidized bed reactor* pada suhu 395 – 400°C pada tekanan atmosferik. Katalis yang digunakan adalah alumina dengan *fluidizing gas* berupa amoniak dan karbondioksida. Suhu reaktor dijaga dengan menyirkulasi lelehan garam dengan menggunakan koil pemanas. Produk yang keluar dari reaktor berupa gas terdiri dari campuran melamin, urea yang tidak bereaksi, biuret, amoniak dan karbondioksida. Katalis yang terbawa aliran gas ditahan pada siklon separator dalam reaktor.



Campuran gas tersebut didinginkan dalam *cooler* sampai temperatur *dew point* campuran gas produk.

Campuran gas kemudian masuk ke kristaliser lalu bercampur dengan *off gas* yang telah direcycle pada temperatur 140°C hingga berbentuk kristal melamin. Lebih dari 98 % melamin dapat mengkristal (Ullman, 2003). Kristal melamin yang dihasilkan dipisahkan dari campuran gas dengan menggunakan siklon. Gas *recycle* dari siklon dialirkan ke *scrubber* atau *washing tower* untuk mengambil urea yang tidak beraksi, dan gas digunakan sebagai *fluidizing gas* pada reaktor dan media pendingin pada kristaliser. Proses ini dapat menghasilkan melamin dengan kemurnian 99,9 %.

b. Proses *Chemie Linz*

Proses ini terdiri dari dua tahap. Tahap pertama yaitu molten urea terdekomposisi dalam *Fluidized Sand Bed Reactor* sehingga menjadi amoniak dan asam isosianat pada kondisi suhu 350°C dan tekanan 0,35 MPa. Amoniak digunakan sebagai *fluidizing gas* panas yang dibutuhkan untuk dekomposisi dialirkan ke reaktor oleh lelehan garam panas yang disirkulasi melalui koil pemanas. Aliran gas kemudian diumpankan ke reaktor *fixed bed* dimana asam isosianat dikonversi menjadi melamin pada suhu 450°C dan tekanan mendekati tekanan atmosfer. Melamin dipisahkan dari hasil reaksi yang berupa fase gas melalui *quenching* dengan menggunakan air *mother liquor* yang berasal dari *centrifuge*. *Quencher* didesain khusus agar dapat bekerja dengan cepat sehingga mencegah hidrolisis melamin menjadi *ammelid* dan *ammelin*. Suspensi melamin dari *quencher* didinginkan lalu dikristalisasi menjadi melamin. Kemudian kristal dikeringkan dan dimasukkan ke penyimpanan.

c. Proses *Stamicarbon*

Seperti pada proses BASF, proses DSM *Stamicarbon* menggunakan reaktor satu *stage*. Proses berlangsung pada tekanan 0,7 MPa,

Lelehan urea diumpankan kedalam reaktor bagian bawah. Katalis silika alumina difluidisasi oleh amoniak yang masuk ke reaktor bagian bawah dari *fluidized bed reactor*. Reaksi dijaga pada suhu 400°C dengan mensirkulasi lelehan garam melewati koil pemanas dalam bed katalis.

2. Proses Tekanan Tinggi Tanpa Menggunakan Katalis

Secara umum, lelehan urea dimasukkan dalam reaktor menjadi campuran lelehan urea dan melamin. Proses ini menghasilkan melamin dengan kemurnian >94 %. Panas yang dibutuhkan untuk reaksi disuplai dengan panas elektrik atau sistem penukar panas dengan menggunakan lelehan garam panas.

$$3 (\text{NH}_2)_2\text{CO} \longrightarrow 3 \text{HOCN} + 3 \text{NH}_3 \dots\dots\dots (1.5)$$

Urea *Cyanic acid* Amoniak

$$3 \text{ HOCN} \longrightarrow (\text{NCOH})_3 \dots \dots \dots (1.6)$$

Cyanic acid
Cyanuric acid

$$(\text{NCOH})_3 + 3 \text{NH}_3 \longrightarrow \text{C}_3\text{N}_3(\text{NH}_2)_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots (1.7)$$

melamin

$$3 (\text{NH}_2)_2\text{CO} + 3 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 6 \text{NH}_3 + 3 \text{CO}_2 \dots\dots\dots (1.8)$$
$$6 (\text{NH}_2)_2\text{CO} \longrightarrow \text{C}_3\text{N}_3(\text{NH}_2)_3 + 6 \text{NH}_3 + 3 \text{CO}_2 \quad (1.9)$$



Pada proses dengan tekanan tinggi dikenal ada 3 macam proses, yaitu :

a. Proses Melamin *Chemicals*

Proses ini menghasilkan melamin dengan kemurnian 96 – 99,5 %. Lelehan urea yang dikonversi menjadi melamin dalam reaktor tubuler pada suhu 370 – 425°C dan tekanan 11 – 15 MPa, cairan melamin dipisahkan dari *off gas* dalam gas separator dimana produk melamin akan terkumpul dibagian bawah. Produk yang keluar di-*quenching* dengan NH_3 cair pada unit pendingin, konversi yang dihasilkan adalah 99,5 %. Lelehan urea diumpankan ke reaktor pada suhu 150°C. Campuran hasil reaksi meninggalkan reaktor masuk ke *quencher* kemudian di-*quenching* dengan NH_3 cair dan CO_2 untuk mengendapkan melamin. NH_3 dan CO_2 terpisah dibagian atas *quencher* *direct cycle* ke pabrik urea.

b. Proses *Montedison*

Proses ini berlangsung pada suhu 370°C dan tekanan 7 MPa. Panas reaksi disuplai dengan sistem pemanasan menggunakan lelehan garam. Hasil reaksi yang dihasilkan kemudian di-*quencing* dengan NH_3 cair dan CO_2 untuk mengendapkan melamin, sedangkan gas CO_2 dan NH_3 di daur ulang ke pabrik urea.

c. Proses *Nissan*

Proses Nissan berlangsung pada suhu 400°C dan tekanan 10 MPa. Produk melamin yang dihasilkan didinginkan dan diturunkan tekanannya dengan larutan amonia, setelah melalui proses pemisahan produk melamin dikeringkan dalam *prilling tower* sehingga diperoleh melamin serbuk.

Pada prarancangan pabrik melamin ini dipilih proses BASF karena memiliki tekanan rendah dan kemurnian produk sebesar 99,9 %.

1.4.2 Kegunaan Produk

Kegunaan melamin diantaranya adalah digunakan sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, bahan sintesa organik, penyamakan kulit, dan lain-lain. Berikut beberapa sektor industri yang menggunakan bahan baku melamin.



1. Industri *adhesive*

Merupakan industri yang memproduksi *adhesive* untuk keperluan industri *woodworking* seperti industri *plywood*, industri *blackboard*, industri *particleboard*.

2. Industri *moulding*

Merupakan industri yang diantaranya menghasilkan alat keperluan rumah tangga.

3. Industri *surface coating*

Adalah industri yang menghasilkan cat, tiner, dempul.

4. Industri laminasi

Industri yang menghasilkan *furniture*.

Tabel 4 menunjukkan data prosentase penggunaan melamin di beberapa negara maju di dunia.

Tabel 4. Prosentase penggunaan melamin di beberapa Negara (Ullman, 2003)

Kegunaan	Eropa (%)	Amerika Serikat (%)	Jepang (%)
Laminasi	47	35	6
<i>Glue, adhesive</i>	25	4	62
Industri <i>moulding</i>	9	9	16
<i>Coating</i>	8	39	12
Kertas dan tekstil	11	5	3
Lain-lain	-	8	1

1.4.3 Sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk

a. Sifat fisis dan kimia bahan baku.

Sifat fisis urea (Ullman, 2003):

- ♦ Rumus molekul : NH_2CONH_2
- ♦ Bobot molekul : 60,06 g/mol
- ♦ Titik leleh : $132,7^\circ\text{C}$
- ♦ Titik didih : 195°C



- ◆ Bentuk : Kristal tak berwarna
 - ◆ Bulk density : 0,74 g/cc
 - ◆ Berat jenis : 1,335 g/cc
 - Sifat kimia urea (Ullman, 2003):
 - ◆ Bereaksi dengan formaldehid membentuk *monometilourea* dan *dimetilourea* tergantung dari perbandingan urea dan formaldehid
 - ◆ Pada tekanan vakum dan suhu 180 – 190°C akan menyublim menjadi *amonium cyanat* (NH₄OCN)
 - ◆ Pada tekanan tinggi dan adanya amoniak akan merubah menjadi *cyanic acid* dan *cynuric acid*
- $$\begin{array}{lcl}
 3 (\text{NH}_2)_2\text{CO} & \longrightarrow & 3 \text{HOCN} + 3 \text{NH}_3 \\
 3 \text{HOCN} & \longrightarrow & (\text{NCOH})_3 \dots\dots\dots (1.10)
 \end{array}$$

b. Sifat fisis dan kimia produk

Sifat fisis melamin (Ullman, 2003):

- ◆ Rumus molekul : C₃N₆H₆
- ◆ Berat molekul : 126,13 g/mol
- ◆ Titik leleh : 350°C
- ◆ Panas pembentukan (25°C) : 71,72 kJ/mol
- ◆ Panas pembakaran (25°C) : -1976 kJ/mol
- ◆ Panas sublimasi (25°C) : -121 kJ/mol
- ◆ Density : 1,573 g/cm³
- ◆ Kapasitas panas (Cp)
 - Pada 273 – 353K : 1470 J kg⁻¹ K⁻¹
 - Pada 300 – 450K : 1630 J kg⁻¹ K⁻¹
 - Pada 300 – 550K : 1720 J kg⁻¹ K⁻¹
- ◆ Kelarutan dalam suhu 300°C dalam gr/100 ml pada :
 - Etanol : 0,06 g/100 cc



- Aceton : 0,03 g/100 cc
- Air : 0,5 g/100 cc
- ♦ Entropi (25°C) : $149 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- ♦ Energi Gibbs (25°C) : 177 kJ/mol
- ♦ Entropi pembentukan (25°C) : $-835 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- ♦ Temperatur kritis : 905,56°C
- ♦ Tekanan kritis : 99,47 atm

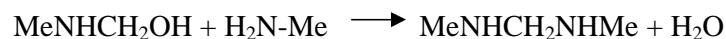
❖ Sifat kimia melamin : (Ullman, 2003)

- ♦ Hidrolisa dengan basa, jika direaksikan dengan NaOH akan membentuk *ammelina/ ammelide*
- ♦ Pembentukan garam
Melamin adalah basa lemah yang akan membentuk garam jika bereaksi dengan asam organik maupun anorganik. Dimana kelarutan garam melamin tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan melamin bebas.
- ♦ Reaksi dengan aldehyd, melamin bereaksi dengan aldehyd membentuk bermacam-macam produk yang paling penting adalah reaksi dengan formaldehyd membentuk resin.



Me adalah molekul melamin dimana semua atom hidrogen yang ada pada melamin diganti dengan gugus *methylol* dan menghasilkan produk dari *Monomethylol* sampai *hexamethylol* melamin. *Methylolmelamin* sedikit larut dalam sebagian besar solven dan sangat tidak stabil karena diikuti oleh reaksi resinifikasi/ kondensasi.

Reaksi :



Pada kondensasi melamin produk mempunyai sifat khusus yaitu tahan terhadap panas dan air yang baik.

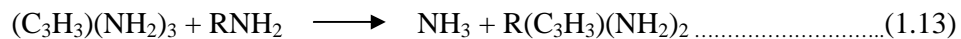


♦ Asilasi

Asilasi melamin dapat terjadi dengan sejumlah *anhydrid* melalui tahap *triacyl*

♦ Reaksi dengan *amine*

Substitusi melamin dengan gugus alkil pada atom H yang menempel pada gugus N dapat terjadi seperti pada reaksi dibawah ini :



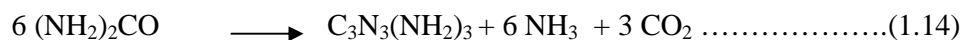
♦ Klorinasi

Klorinasi melamin yang terjadi cenderung mengganti semua atom hidrogen. Air yang dihasilkan pada reaksi akan menghidrolisa menghasilkan nitrogen triklorida yang berbahaya pada proses klorinasi, melamin stabil ketika kondisinya kering.

1.4.4 Tinjauan Proses

Bahan baku berupa urea *prill* yang dilelehkan pada *Melter* kemudian dialirkan ke tangki penampung. Dari tangki penampung, lelehan urea sebagian digunakan untuk menyerap *off gas* dan sebagian diumpankan ke reaktor melalui *nozzle*. Katalis yang digunakan adalah alumina, sedangkan media yang digunakan untuk terjadinya fluidisasi digunakan gas daur ulang yang dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu 400°C. Koil pemanas pada reaktor digunakan untuk menjaga suhu reaktor konstan pada suhu 395°C.

Urea yang diinjeksikan melalui *nozzle* akan menguap secara spontan dan akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Konversi reaksi sekitar 95 % dan yield proses 93 %. Melamin, urea yang tidak bereaksi, biuret, amoniak dan karbondioksida yang terbentuk keluar



reaktor secara bersama-sama. Selama reaksi berlangsung, tidak ada penambahan katalis karena deaktivasi katalis terjadi selama 3 tahun.